

**Дисциплина «Нетрадиционные и возобновляемые источники
энергии»**

для специальности «Теплоэнергетика»

**Дисциплина «Проектирование и эксплуатация установок
возобновляемой энергетики»**

для специальности «Электроэнергетика»

**Факультет энергетики, автоматики и телекоммуникации
Кафедра «Энергетические системы»**

Калытка Валерий Александрович

**Доктор PhD; ассоциированный профессор (доцент); доцент
кафедры «Энергетические системы»**

Лекция № 6. Солнечная энергетика. Технологические схемы фотоэлектрических станций



Лекция № 6. Солнечная энергетика. Технологические схемы фотоэлектрических станций

Цель занятия сводится к изучению физических основ и технологических схем преобразования энергии солнечного электромагнитного излучения (светового потока) в энергию электрического тока, в условиях фотоэлектрических станций (ФЭС) или солнечных электрических станций (СЭС), работающих на базе фотоэлектрических батарей (ФЭБ) и ряда вспомогательных элементов (концентраторы, трансформаторы, токоотводящие линии и др.), составляющих основу Солнечной Электроэнергетики.

Видеоролики:

1. Энергия солнца | Техногеника 3 | Discovery Channel
(44 минуты)
<https://www.youtube.com/watch?v=DiykDS4N3BQ>
2. 7 ВПЕЧАТЛЯЮЩИХ ПРИМЕНЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
(8 минут 22 секунды)
<https://www.youtube.com/watch?v=Bn6mK1aKot4>
3. Что, если покрыть пустыни солнечными батареями?
(10 минут 23 секунды)
<https://www.youtube.com/watch?v=g4QlkRuvEOo>

Основным источником энергии для нашей планеты является солнечная энергия. Именно Солнце является прародителем всех основных энергетических ресурсов используемых человечеством – Солнце нагревает атмосферу и поверхность Земли, благодаря чему дуют ветры, текут реки, развиваются растения, образуются органические виды топлива.

Солнце представляет собой огромный, ярко светящийся газовый шар, который состоит в основном из водорода (70 %) и гелия (27 %). В недрах Солнца непрерывно протекают термоядерные реакции сопровождающиеся выделением огромного количества энергии. Интенсивность излучения на поверхности Солнца составляет 70-80 тыс. кВт/м² при температуре около 6000 °С.

Суммарная мощность лучистой энергии, поступающей к земной атмосфере, равна примерно 180000 млрд. кВт. Количество солнечной лучистой энергии, приходящей за год к атмосфере Земли, составляет колоссальную величину – $1,5 \cdot 10^{18}$ кВт·ч. Из-за отражения, рассеивания и поглощения ее атмосферными газами и аэрозолями только 47 % всей энергии, или приблизительно $7 \cdot 10^{17}$ кВт·ч, достигает поверхности Земли.

Для количественной оценки солнечной радиации используют такой показатель, как количество энергии, переносимой в единицу времени (поток энергии) через единичную площадку – **интенсивность излучения I_e** .

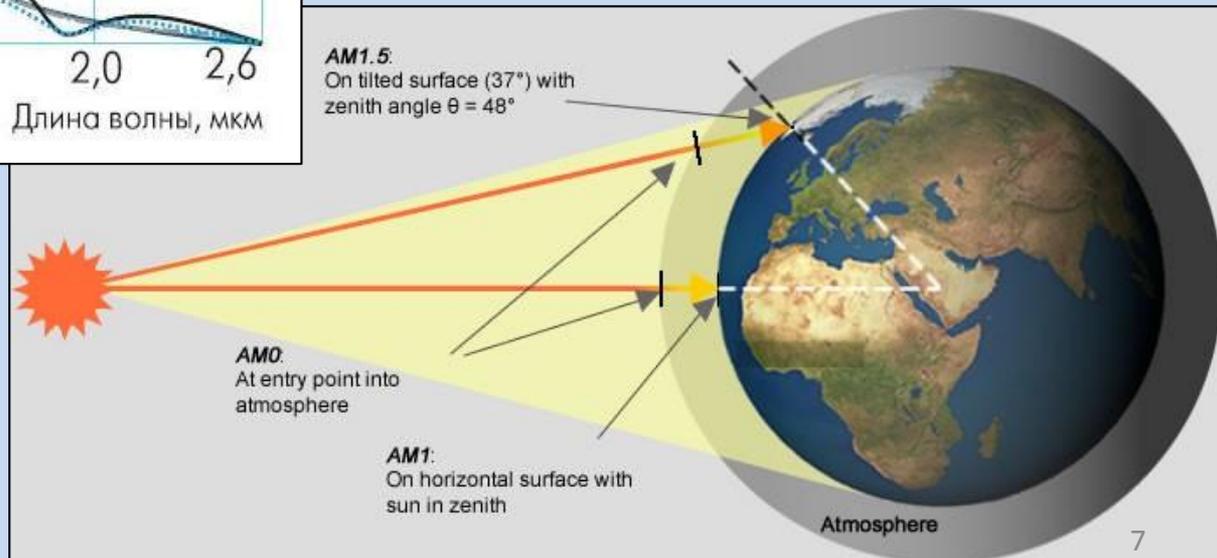
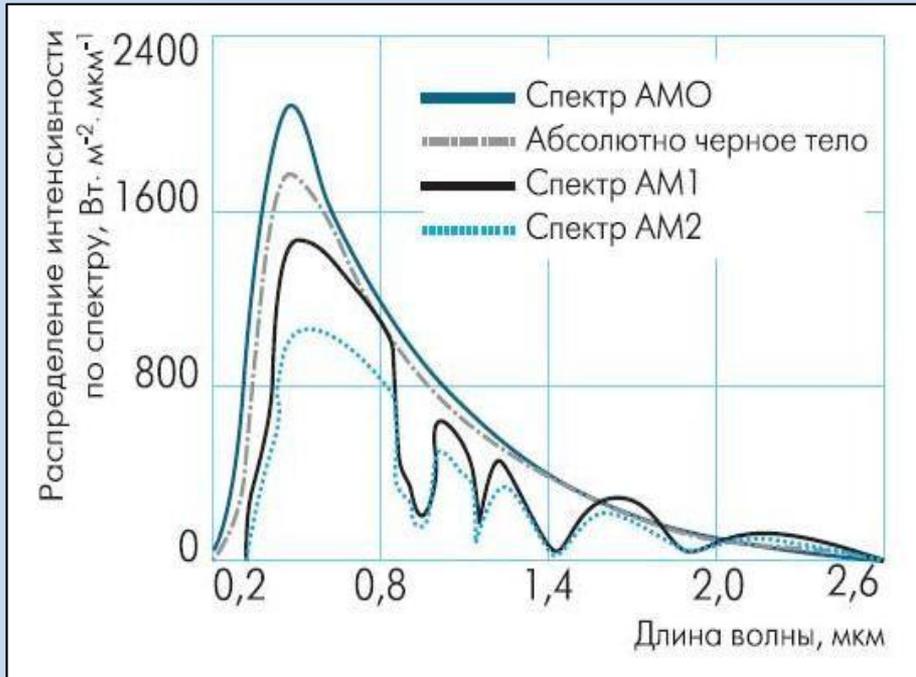
Единица измерения I_e в системе СИ: – ватт на квадратный метр (Вт/м²).

Интенсивность солнечного излучения зависит от множества факторов: географической широты, угла наклона поверхности по отношению к Солнцу, местного климата, облачности, запыленности воздуха, высоты над уровнем моря, сезона года и времени суток. В средних широтах днем интенсивность солнечного излучения достигает 800 Вт/м^2 летом и $200\text{...}350 \text{ Вт/м}^2$ зимой, уменьшаясь до нуля с заходом Солнца.

Технологии использования солнечной энергии развиваются по двум основным направлениям – преобразование лучистой энергии Солнца:

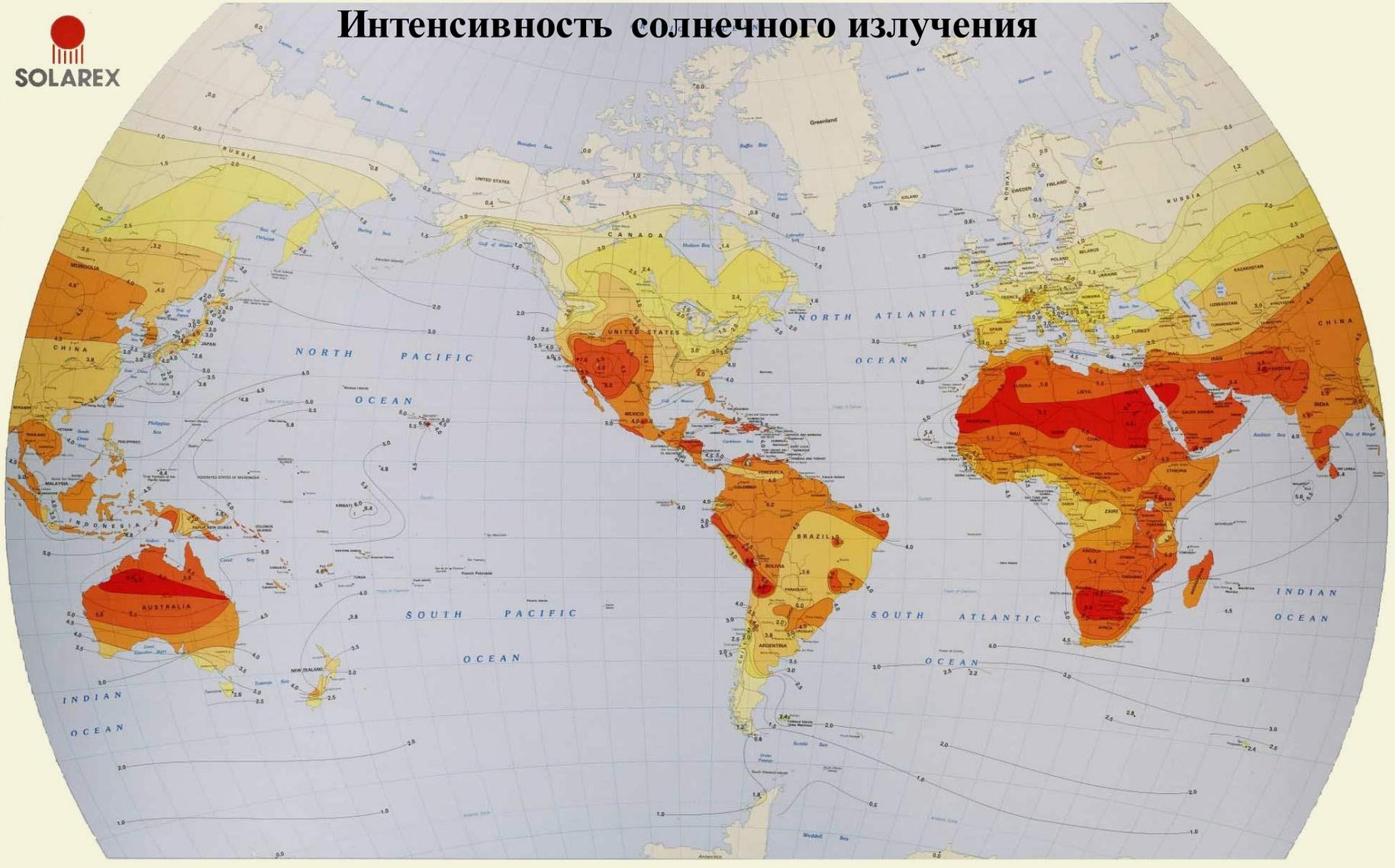
- в тепло;
- в электричество.

Распределение интенсивности по спектру солнечного излучения





Интенсивность солнечного излучения



Карта интенсивности солнечного излучения на территории России



Продолжительность солнечного сияния в год



Jährlich installierte PV-Leistung in Deutschland in MW_p

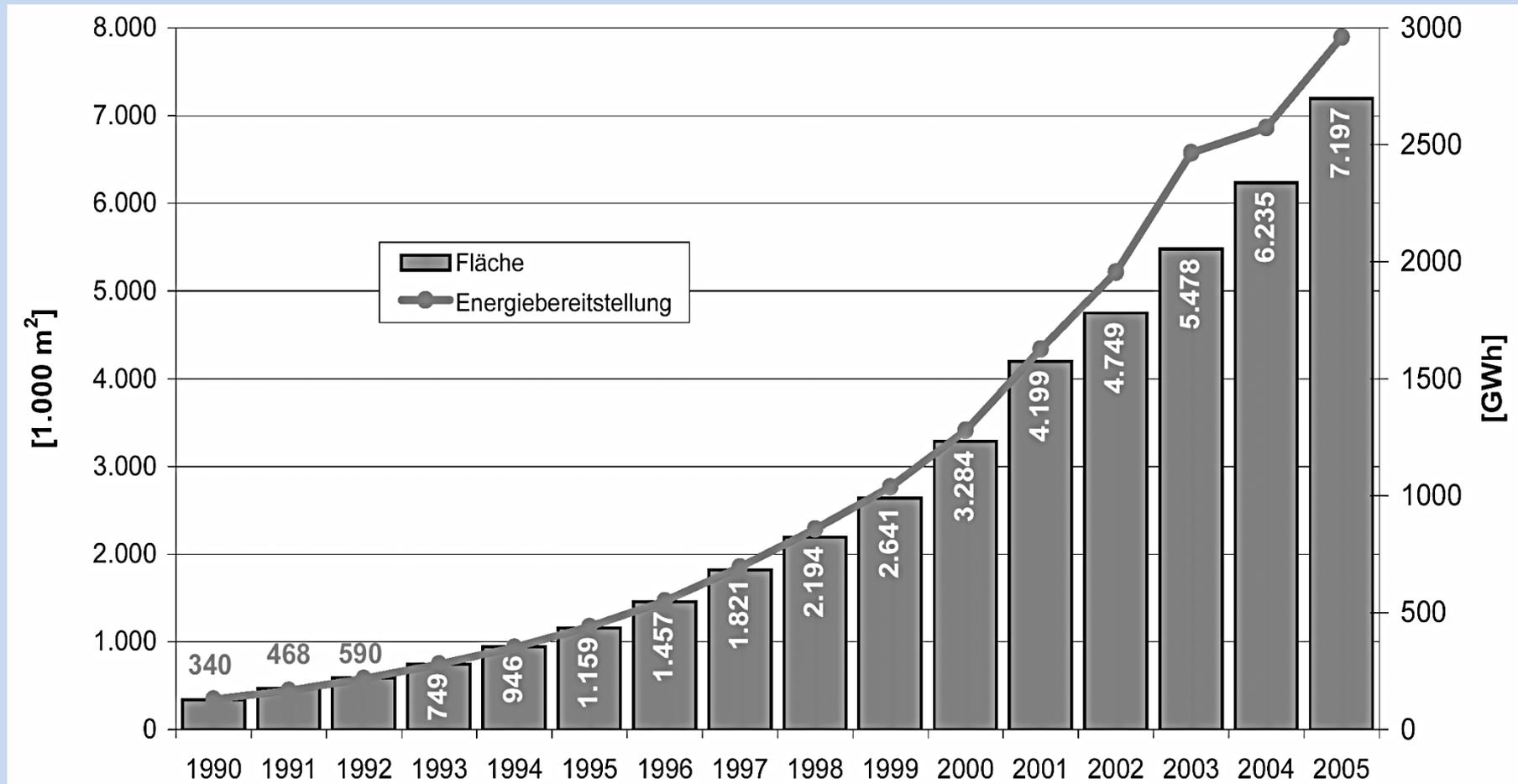
Рынок фотоэлектрической энергии в Германии



■ installierte PV-Anlagen

■ Prognose

Рост рынка солнечных тепловых систем в Германии



Quelle: BMU-Publikation "Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung", Stand Mai 2006

Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения

- ❑ Получение электроэнергии с помощью фотоэлементов.
- ❑ Преобразование солнечной энергии в электричество с помощью тепловых машин: паровые машины (поршневые или турбинные), использующие водяной пар, углекислый газ, пропан-бутан, фреоны; двигатель Стирлинга и т. д.
- ❑ Гелиотермальная энергетика — нагревание поверхности, поглощающей солнечные лучи, и последующее распределение и использование тепла (фокусирование солнечного излучения на сосуде с водой для последующего использования нагретой воды в отоплении или в паровых электрогенераторах).
- ❑ Термовоздушные электростанции (преобразование солнечной энергии в энергию воздушного потока, направляемого на турбогенератор).
- ❑ Солнечные аэростатные электростанции (генерация водяного пара внутри баллона аэростата за счет нагрева солнечным излучением поверхности аэростата, покрытой селективно-поглощающим покрытием). Преимущество — запаса пара в баллоне достаточно для работы электростанции в темное время суток и в ненастную погоду.

Солнечные тепловые электростанции (СЭС)

Используются для производства тепловой и электрической энергии.

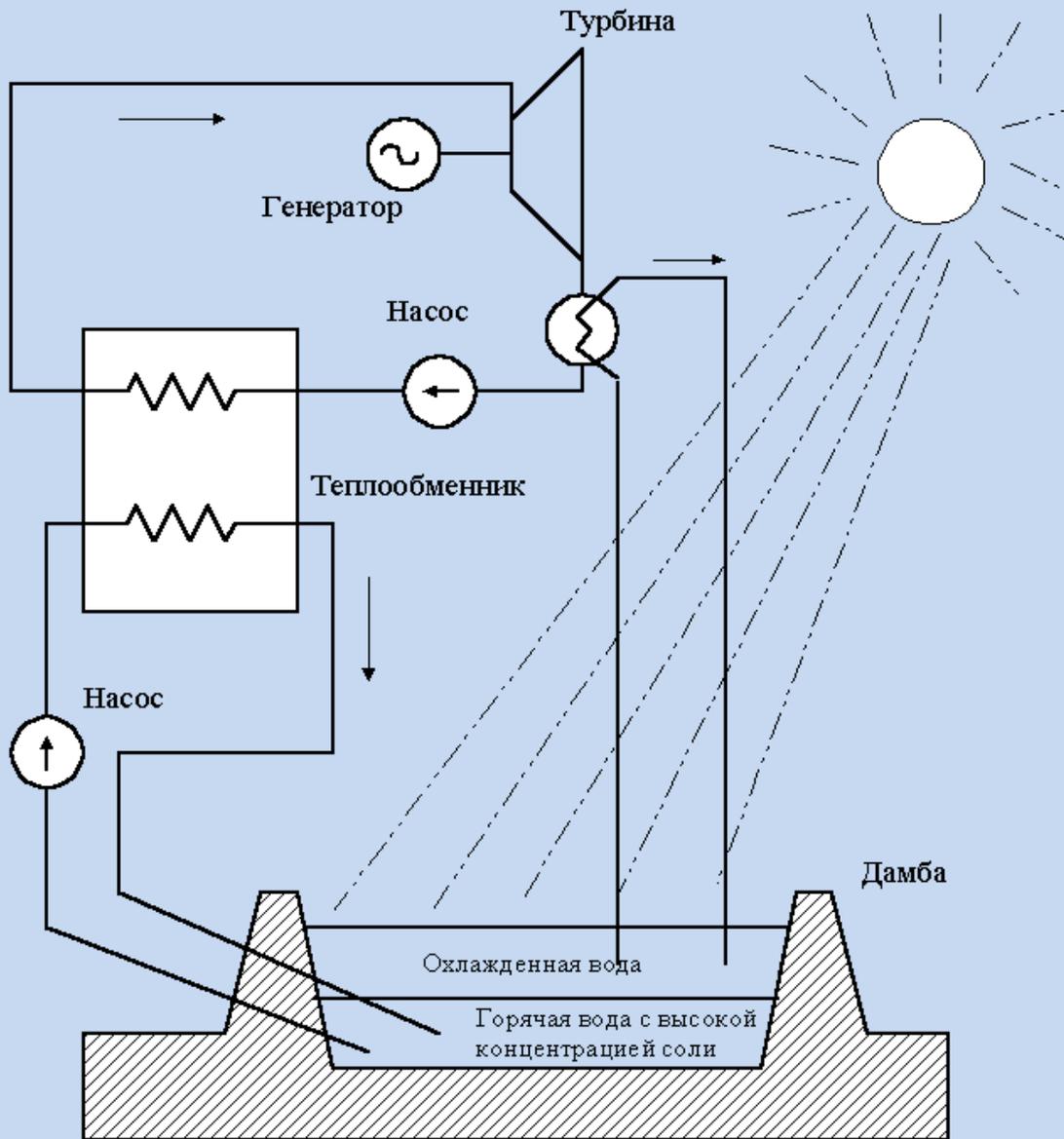
По способу производства тепла СЭС подразделяют на:

- солнечные концентраторы (зеркала)
- солнечные пруды.



Солнечный
пруд

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



В водоем на различных уровнях вводится разное количество солей. При этом создаются слои раствора с разной концентрацией и плотностью. Нижние слои, у которых выше концентрация и плотность соли, нагреваются под действием солнечной радиации более интенсивно \Rightarrow возникает температурный градиент.

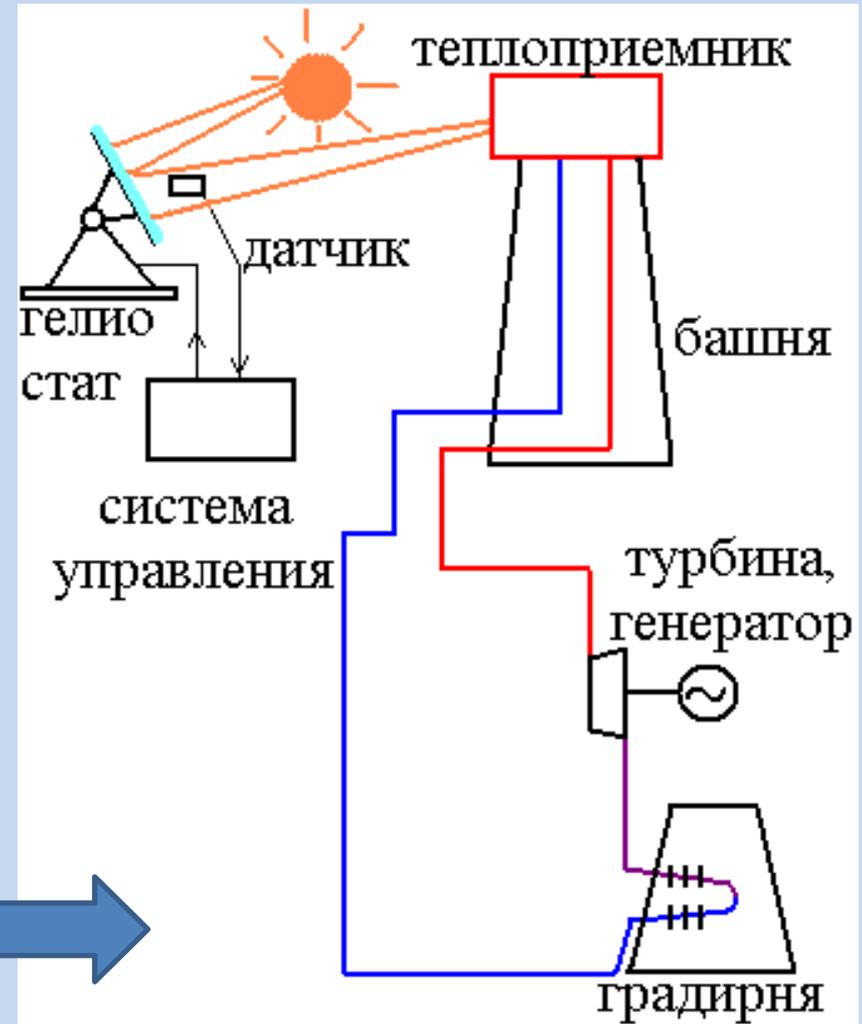
Горячая вода ($60-90^{\circ}\text{C}$) из нижних слоев подается в теплообменник и используется для испарения жидкости с низкой температурой кипения (фреон, пропан, аммиак). Пары этой жидкости приводят во вращение турбину.

Более перспективным направлением развития СЭС является применение солнечных концентраторов, способных превращать солнечную энергию в электричество с КПД около 15 %.

По способу концентрации солнечной энергии современные технологии подразделяются на:

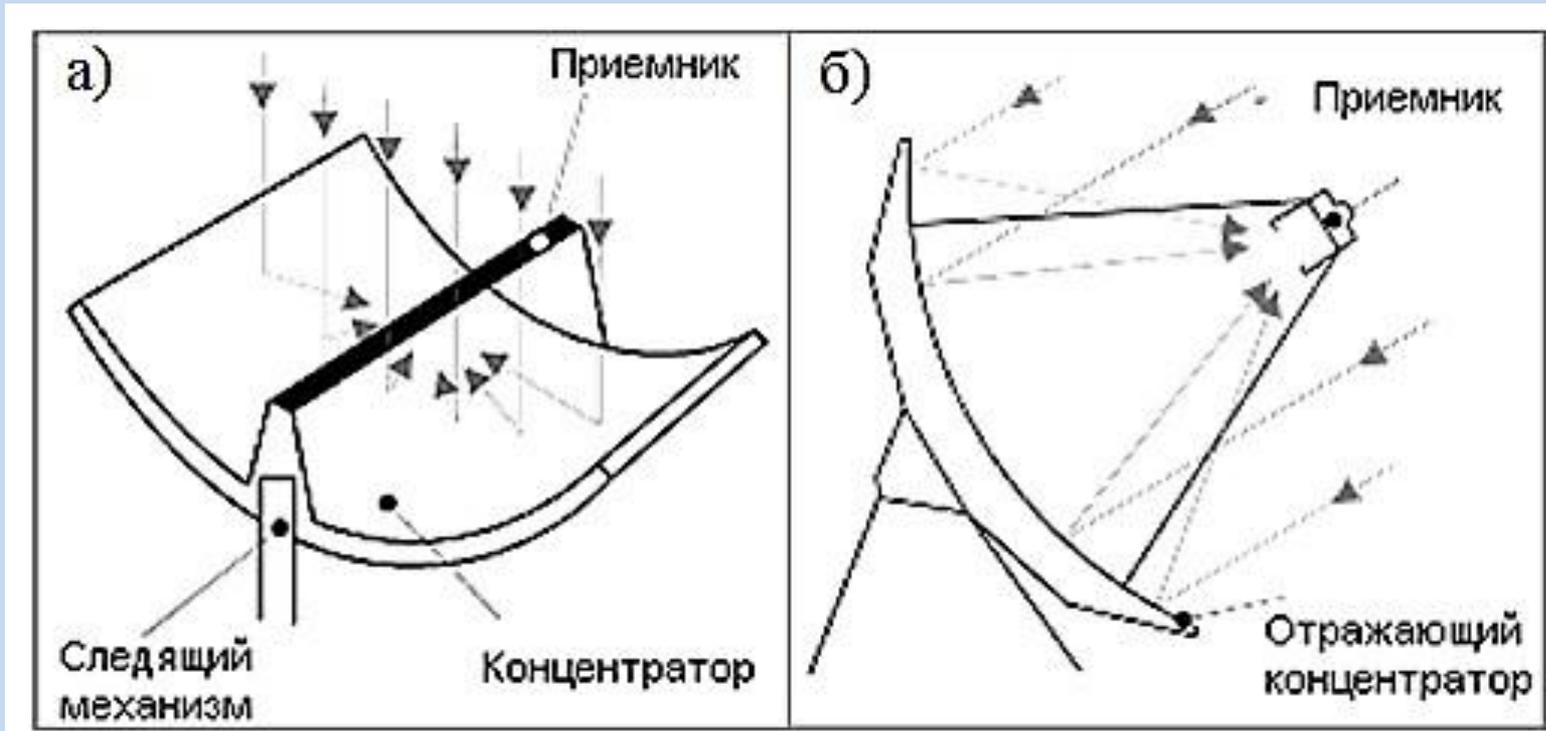
- параболические концентраторы,
- солнечные параболические зеркала,
- гелиоэнергетические установки башенного типа.

СЭС башенного типа



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

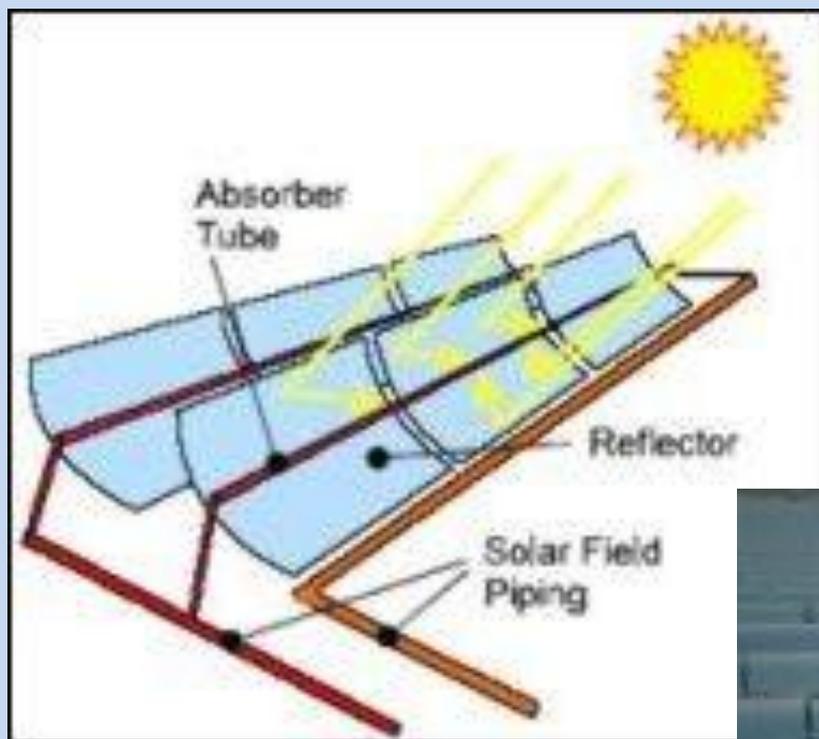




Основные типы солнечных концентраторов:

а) – параболическая (лотковая система);

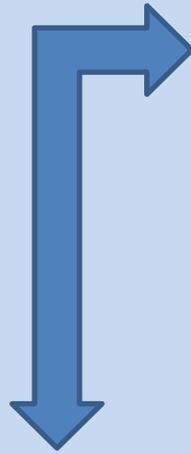
б) – тарельчатая система



Параболический
лотковый
концентратор



Параболический
тарельчатый
концентратор

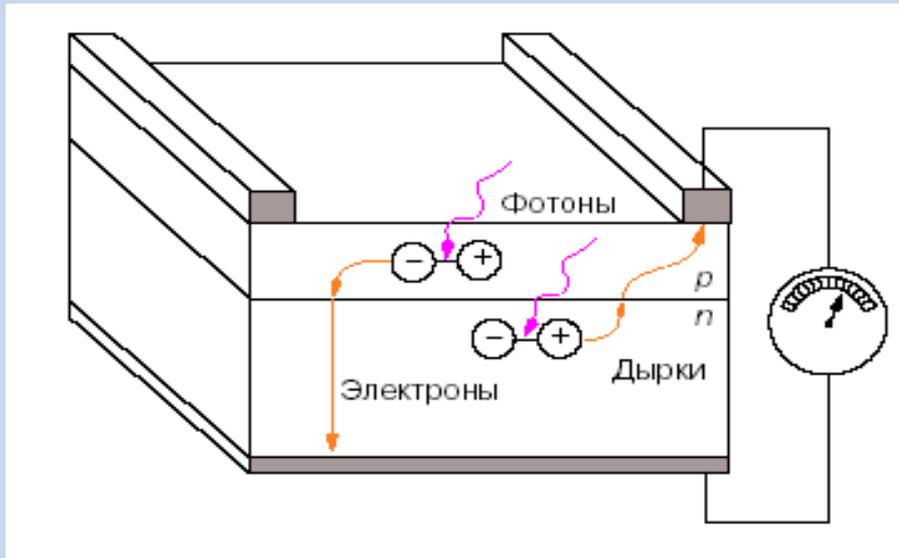


Фотоэлектрические преобразователи

Прямое преобразование солнечной энергии в электроэнергию с помощью фотоэлектрических преобразователей является в настоящее время одним из наиболее динамичных направлений развития возобновляемой энергетики. Такому положению дел во многом способствуют полученный положительный опыт практического применения фотоэлектрических преобразователей и постоянное совершенствование технологий изготовления солнечных элементов, связанных с повышением их КПД и снижением себестоимости.

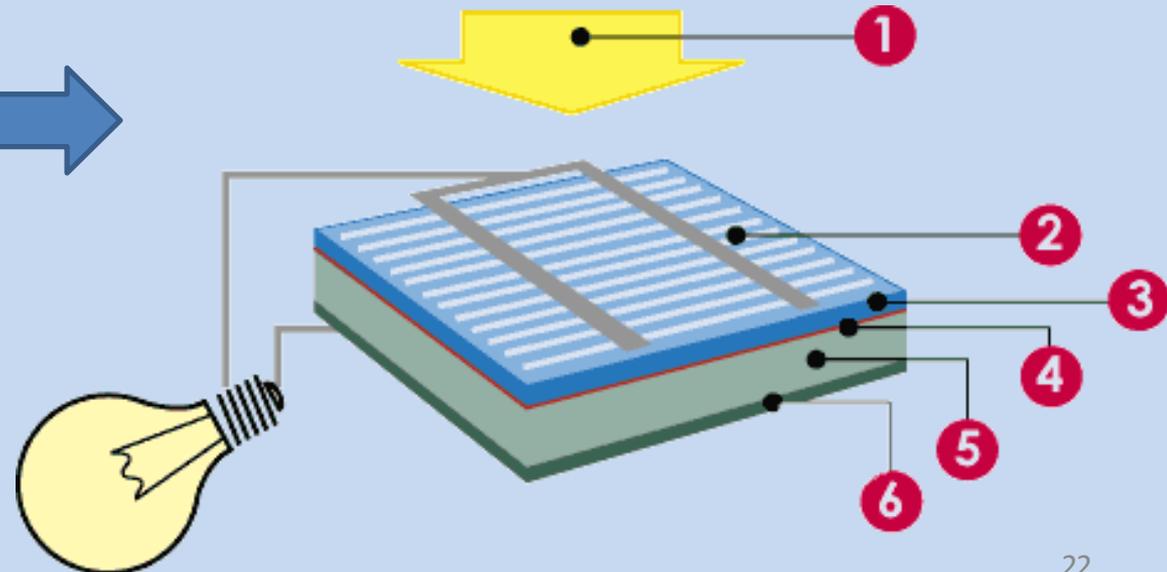
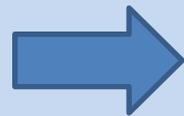
Преобразование энергии в ФЭП основано на [фотоэлектрическом эффекте](#), который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

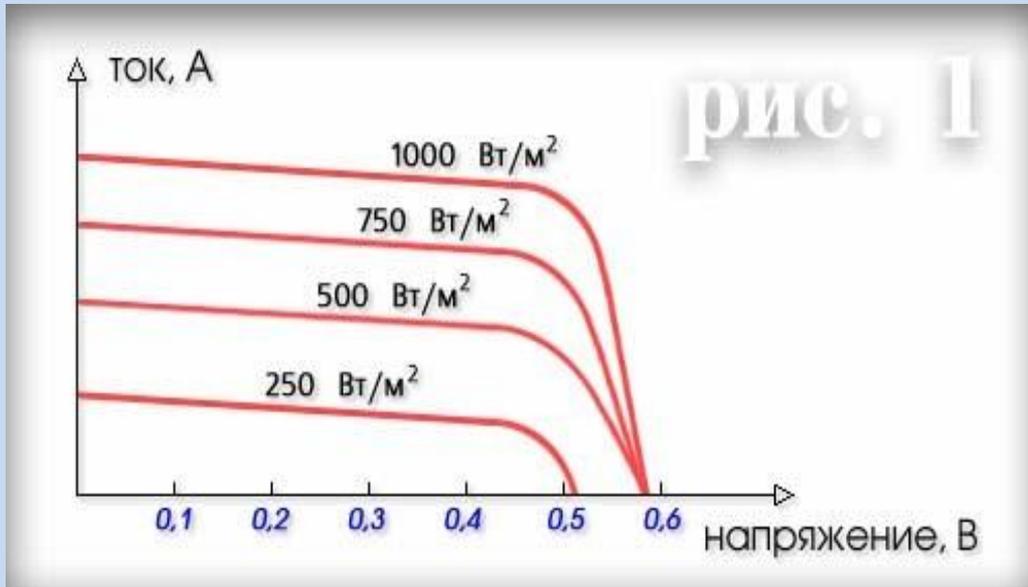
Неоднородность структуры ФЭП может быть получена [легированием](#) одного и того же полупроводника различными примесями (создание [p-n переходов](#)) или путём соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещённой зоны — энергии отрыва электрона из атома (создание [гетеропереходов](#)), или же за счёт изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещённой зоны (создание варизонных структур). Возможны также различные комбинации перечисленных способов.



Структура солнечного элемента из кремния

1. свет (фотоны)
2. лицевой контакт
3. отрицательный слой
4. переходной слой
5. положительный слой
6. задний контакт



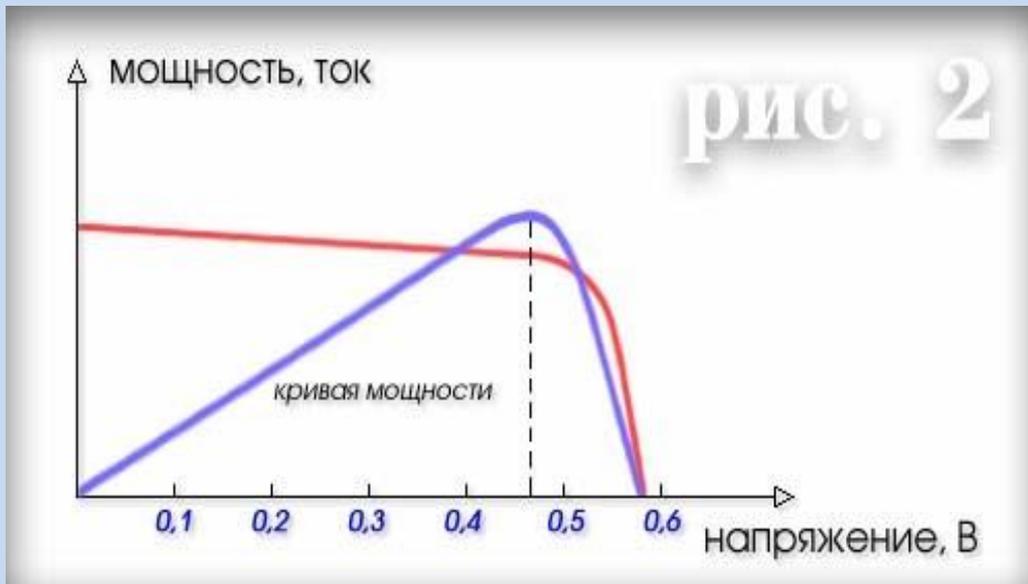


← Вольт-амперная характеристика фотоэлемента

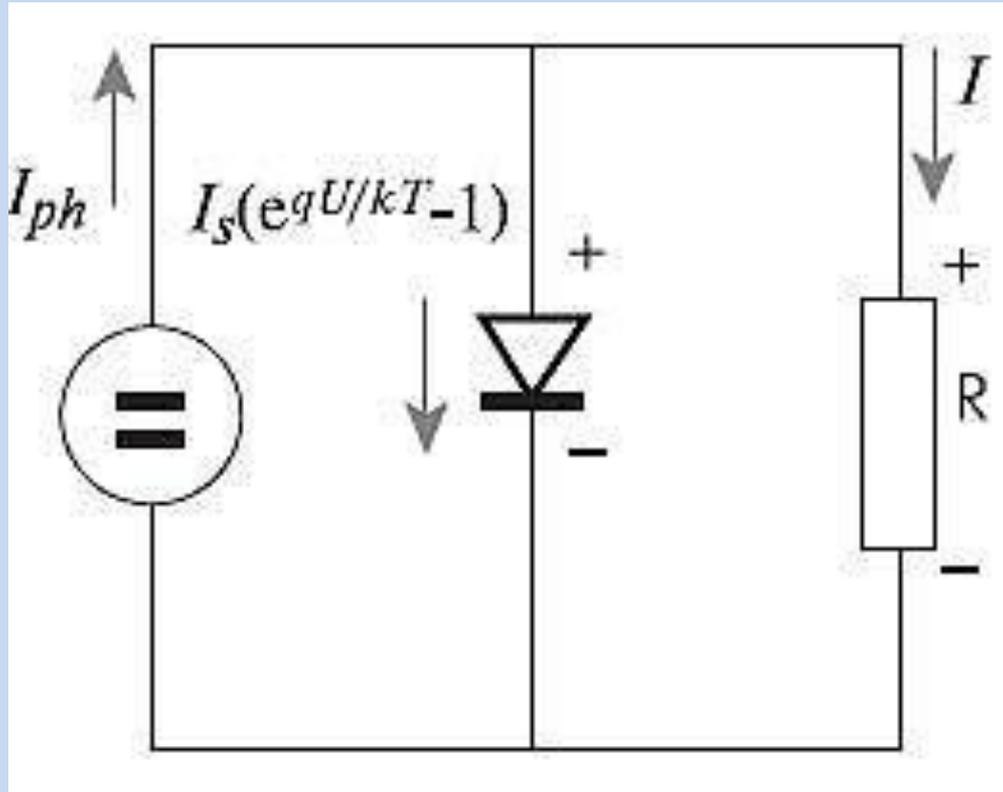
Величина установившейся фото ЭДС при освещении перехода излучением постоянной интенсивности описывается уравнением вольт - амперной характеристики (ВАХ)

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1 \right)$$

где I_s - ток насыщения
 I_{ph} - фототок



ВАХ поясняет эквивалентная схема фотозлемента, включающая источник тока, где S - площадь фотозлемента, Q - безразмерный множитель (<1)

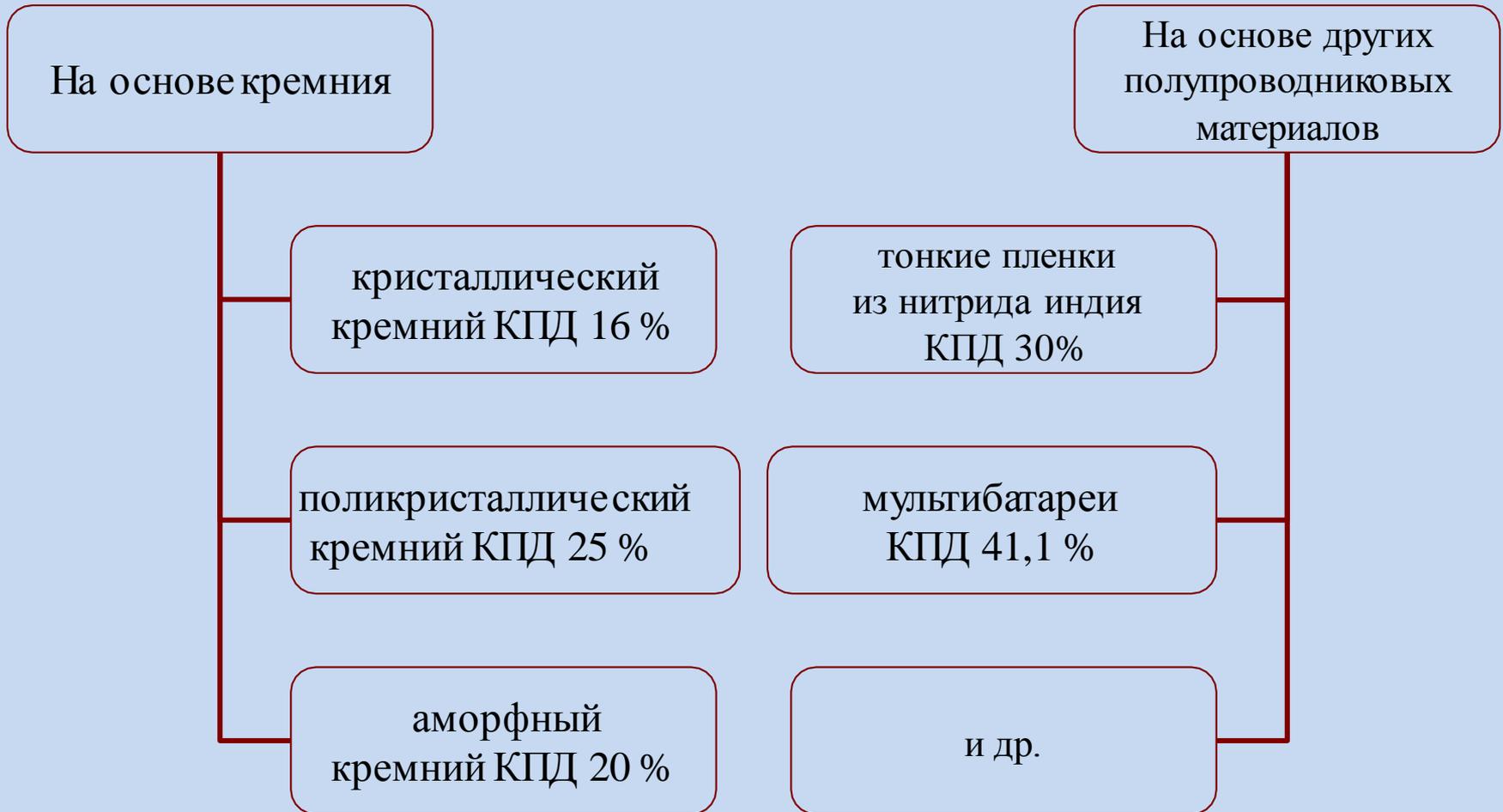


$$I_{ph} = sqN_oQ$$

$$I_{p-n} = I_s \left[e^{qU/kT} - 1 \right]$$

$$P = I_{ph}U = xI_{кз}U_{хх}$$

Виды солнечных фотоэлементов



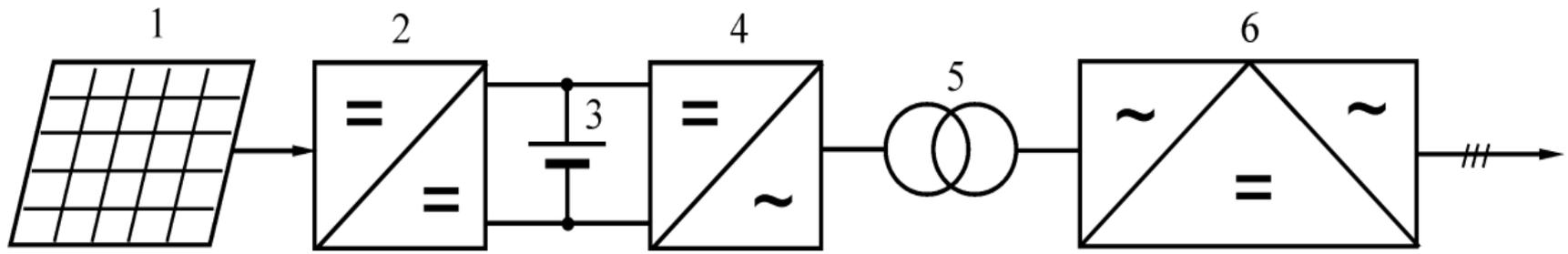
Основные необратимые потери энергии в фотоэлектронном преобразователе:

- отражение солнечного излучения от поверхности преобразователя;
- прохождение части излучения через ФЭП без поглощения в нем;
- рассеяние на тепловых колебаниях решетки избыточной энергии фотонов;
- рекомбинация образовавшихся фотопар на поверхностях и в объеме ФЭП;
- внутреннее сопротивление преобразователя

Уменьшение всех видов потерь энергии в ФЭП:

- ❑ Использование полупроводников с оптимальной для солнечного излучения шириной запрещенной зоны;**
- ❑ Оптимизация конструктивных параметров ФЭП (глубины залегания р-n перехода, толщины базового слоя, и др.);**
- ❑ Применение многофункциональных оптически покрытий, обеспечивающих терморегулирование и защиту ФЭП от космической радиации;**
- ❑ Создание каскадных ФЭП из специально подобранных по ширине запрещенных зоны полупроводников, позволяющих преобразовывать в каждом каскаде излучение, прошедшее через предыдущий каскад, и пр.**

Структурная схема варианта реализации фотоэлектрической установки автономного типа



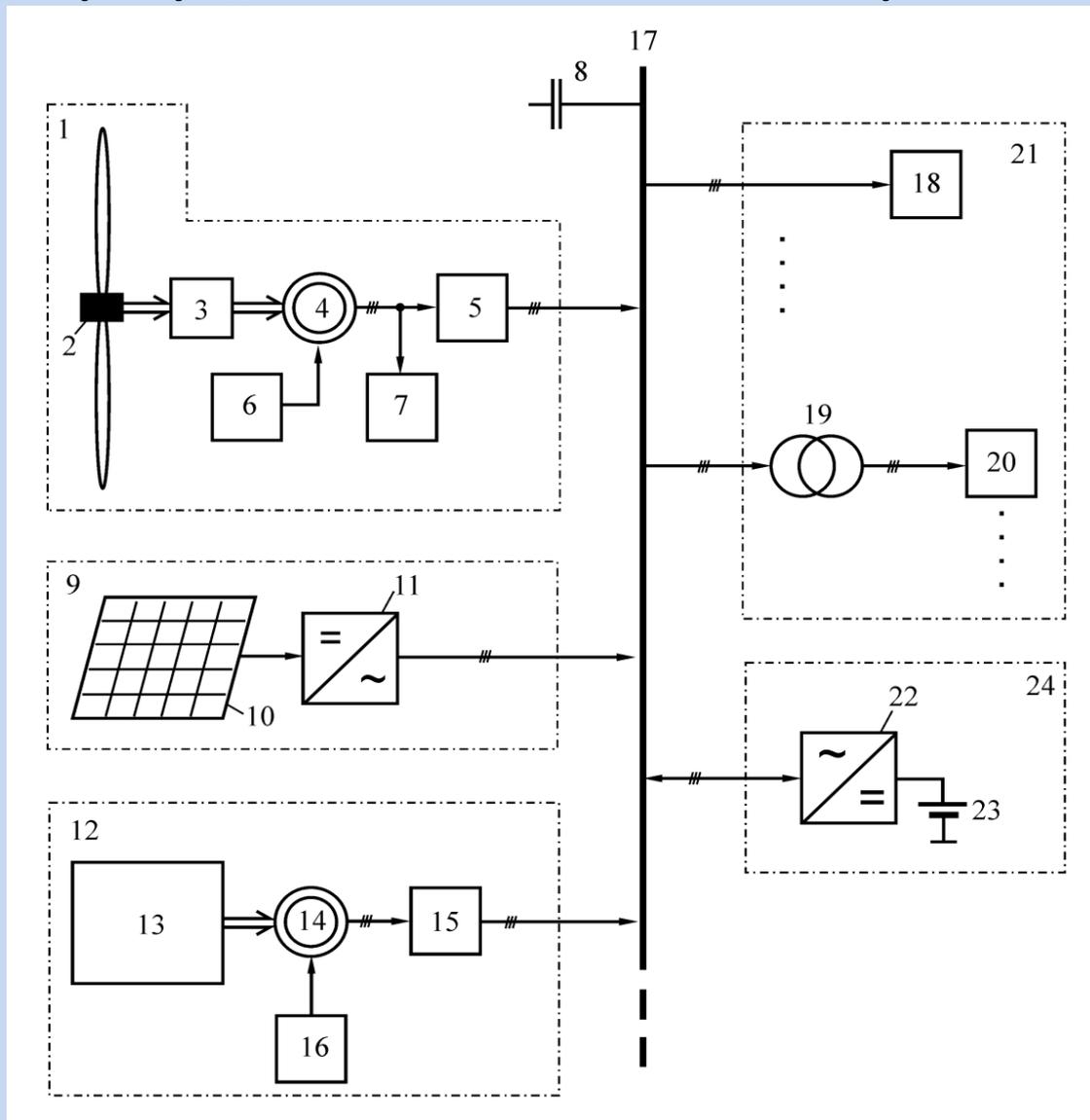
- 1 – солнечная панель (модуль);
- 2– повышающий конвертор напряжения;
- 3 – аккумуляторная батарея;
- 4– высокочастотный однофазный инвертор напряжения;
- 5– высокочастотный силовой трансформатор;
- 6– статический преобразователь частоты со вставкой постоянного тока

Структурная схема варианта реализации фотоэлектрической установки, работающей на сеть



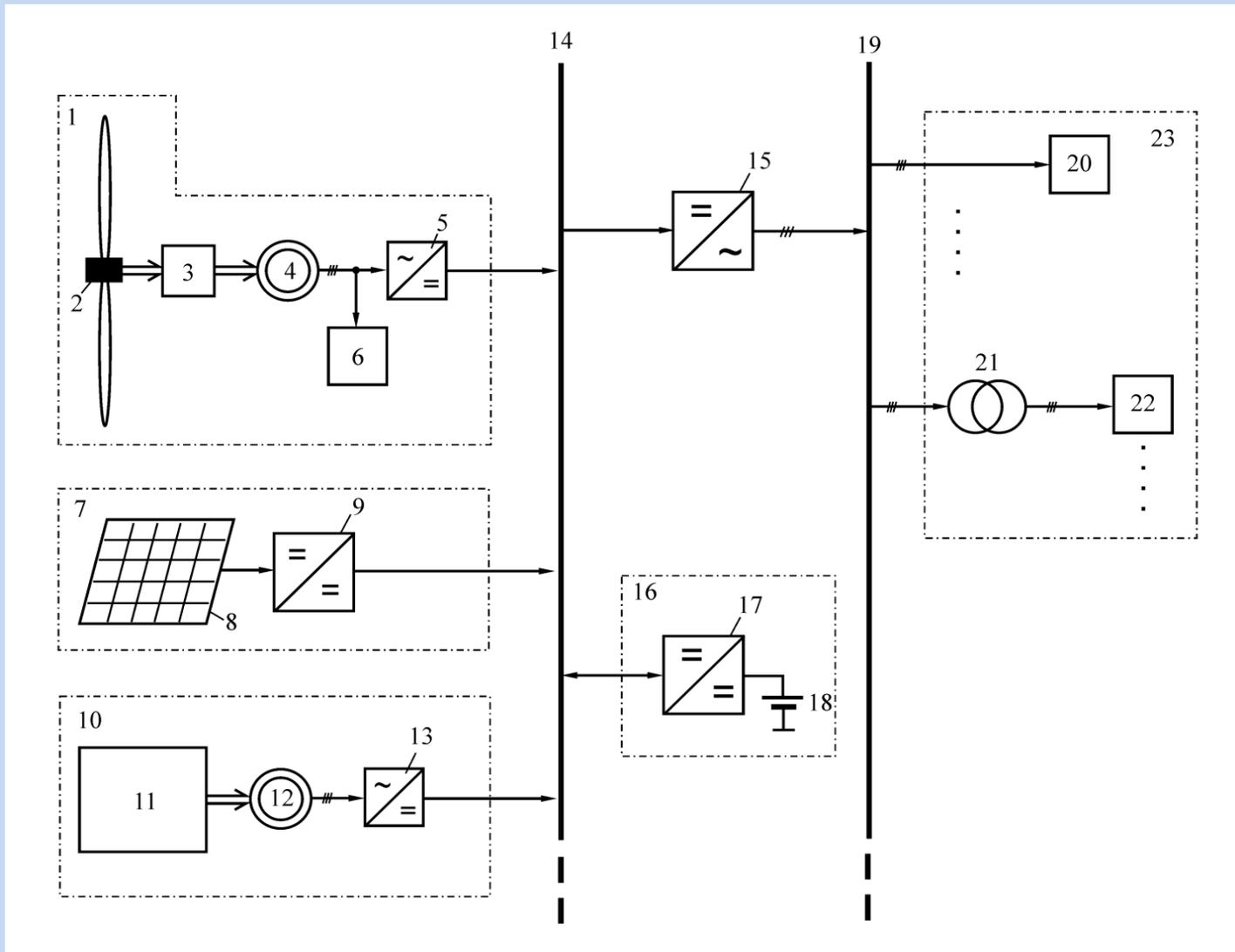
СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Схема гибридной электростанции с непосредственным подключением силовых модулей к распределительной сети объекта электроснабжения



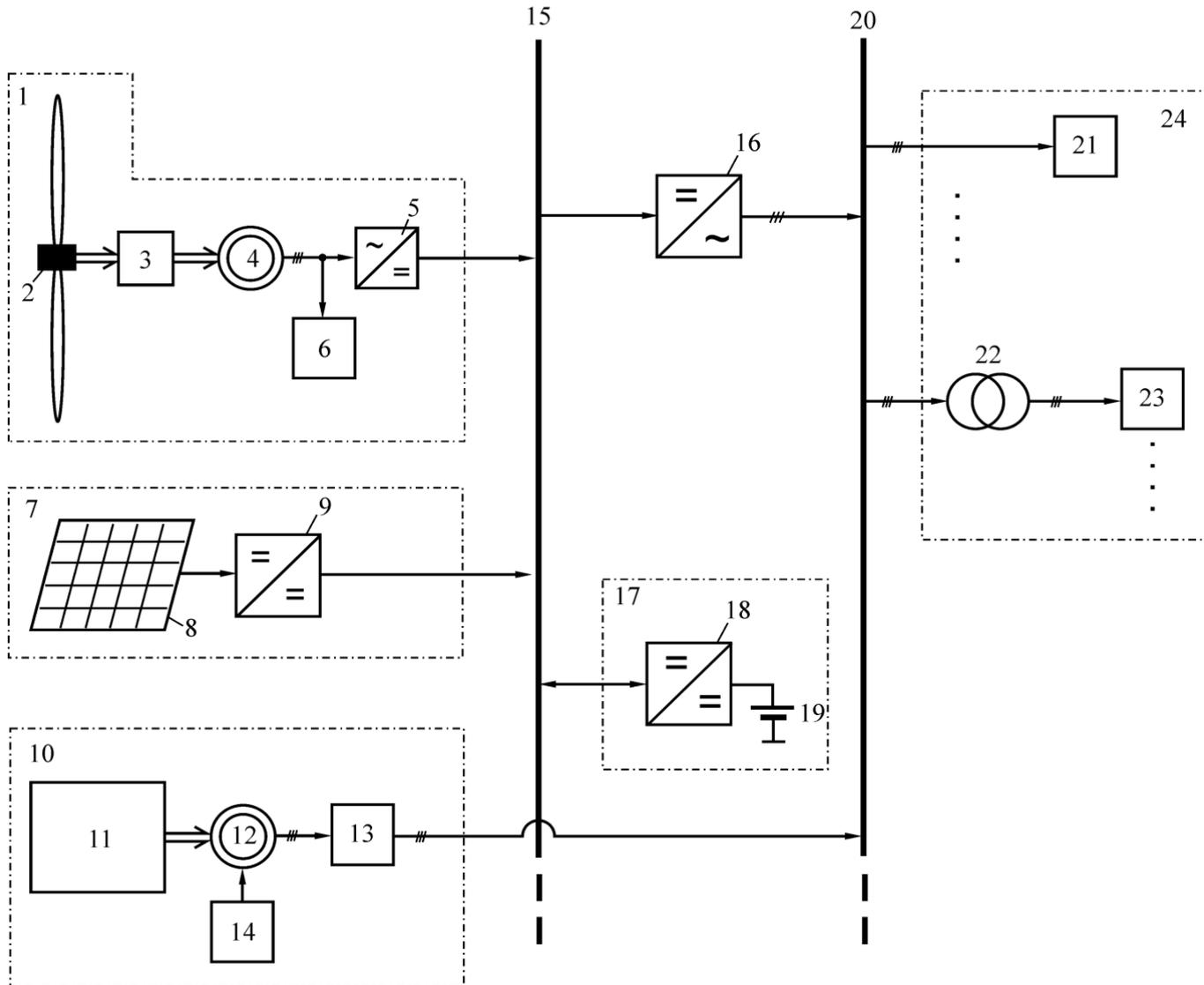
СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Схема гибридной электростанции с подключением силовых модулей к промежуточной шине постоянного тока



СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Схема гибридной электростанции со смешанным подключением силовых модулей



Достоинства солнечной энергетики

- ❑ **Общедоступность и неисчерпаемость источника.**
- ❑ **Теоретически (как утверждают ее сторонники) полная безопасность для окружающей среды**
- ❑ **Однако! В настоящее время в производстве фотоэлементов и в них самих используются вредные вещества- свинец, кадмий, галлий, мышьяк и др.).**
- ❑ **Однако! Есть еще принципиальная проблема, которая связана с тем, что глобальное использование солнечной энергетики может изменить альbedo земной поверхности (сейчас ~35% и определяется отношением отраженной и рассеянной солнечной энергии к падающей на Землю) и привести к изменению климата.**

Проблемы солнечной энергетики

➤ **Фундаментальные**

- Из-за относительно небольшой величины солнечной постоянной для солнечной энергетики требуется использование больших площадей земли под электростанции (например, для электростанции мощностью 1 ГВт это может быть пара десятков квадратных километров).
- Поток солнечной энергии на поверхности Земли сильно зависит от широты и климата. В разных местах количество солнечных дней в году может различаться очень сильно.

➤ Технические проблемы

- ❑ Солнечная электростанция не работает ночью и недостаточно эффективно – в утренних и вечерних сумерках. При этом пик электропотребления приходится именно на вечерние часы. Кроме того, мощность электростанции может резко и неожиданно колебаться из-за смены погоды.
- ❑ Дороговизна солнечных фотоэлементов. Вероятно, с развитием технологии этот недостаток преодолеют. С 1990 года по 2005 цены на фотоэлементы снижались в среднем на 4 % в год.
- ❑ Недостаточный КПД солнечных элементов. Вероятно, будет вскоре увеличен.
- ❑ Поверхность фотопанелей нужно очищать от пыли и других загрязнений. При их площади в несколько квадратных километров это может вызвать затруднения.
- ❑ Эффективность фотоэлектрических элементов заметно падает при их нагреве, поэтому возникает необходимость в установке систем охлаждения, обычно водяных.
- ❑ Через 30 лет эксплуатации эффективность фотоэлектрических элементов начинает снижаться.

➤ Экологические проблемы

- ❑ Несмотря на экологическую чистоту получаемой энергии, сами фотоэлементы содержат ядовитые вещества, например, свинец, кадмий, галлий, мышьяк и т. д., а их производство потребляет массу других опасных веществ. Современные фотоэлементы имеют ограниченный срок службы (30—50 лет), и массовое применение поставит в ближайшее же время сложный вопрос их утилизации, который тоже не имеет пока приемлемого с экологической точки зрения решения.
- ❑ Из-за экологических проблем и возникшего дефицита кремния начинает активно развиваться производство тонкопленочных фотоэлементов, в составе которых содержится всего около 1 % кремния. К тому же тонкопленочные фотоэлементы дешевле в производстве, но пока имеют меньшую эффективность.

Космические солнечные системы

Огромное количество солнечной энергии, приходящей на Землю (~ 0.15 МВт·ч/м² в год), затруднительно использовать из-за низкой плотности солнечной радиации и зависимости ее от облачности и времени года.

В настоящее время имеются технические возможности для создания фотоэлектрических ЭС, размещаемых на искусственных спутниках Земли с геостационарной орбитой. В этом случае солнечная энергия будет аккумулироваться непрерывно. Передача энергии на Землю должна осуществляться по сверхвысокочастотному каналу с длиной волны 10 см (частота 2,4 ГГц).

Расчетные значения КПД преобразования энергии на космических солнечных электростанциях (КСЭС) приведены в таблице.

Расчетные показатели КСЭС

№	Производство и передача ЭЭ	КПД	
		достигнутые в настоящее время	перспектив -ные
1	Генерация УКВ потока энергии	76,7	90
2	Передача энергии с выхода генератора на вход антенны	94	95
3	Улавливание и детектирование	64	90
4	Общий КПД	26,5	77

КСЭС спроектированы на электрическую мощность 3-20 ГВт. Размеры КСЭС с выходной мощностью 5 ГВт оцениваются так:

- суммарная поверхность батареи **20 км²**;
- диаметр передающей антенны **1 км²**;
- диаметр приемной антенны **7-12 км.**

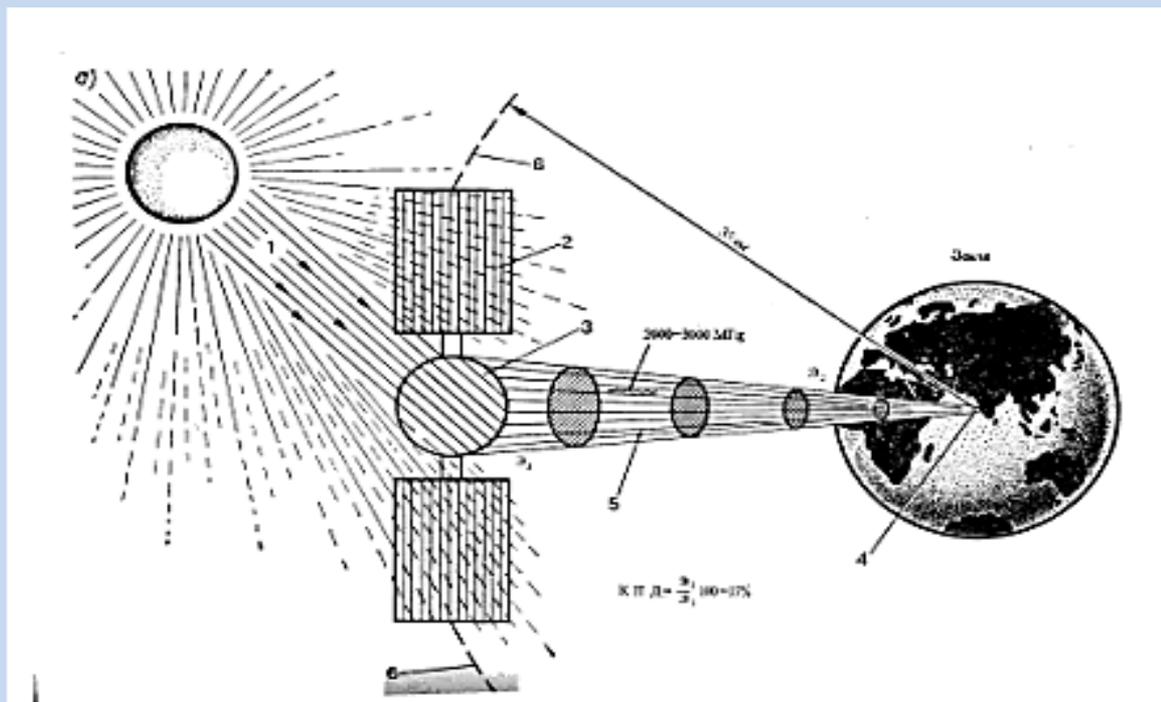
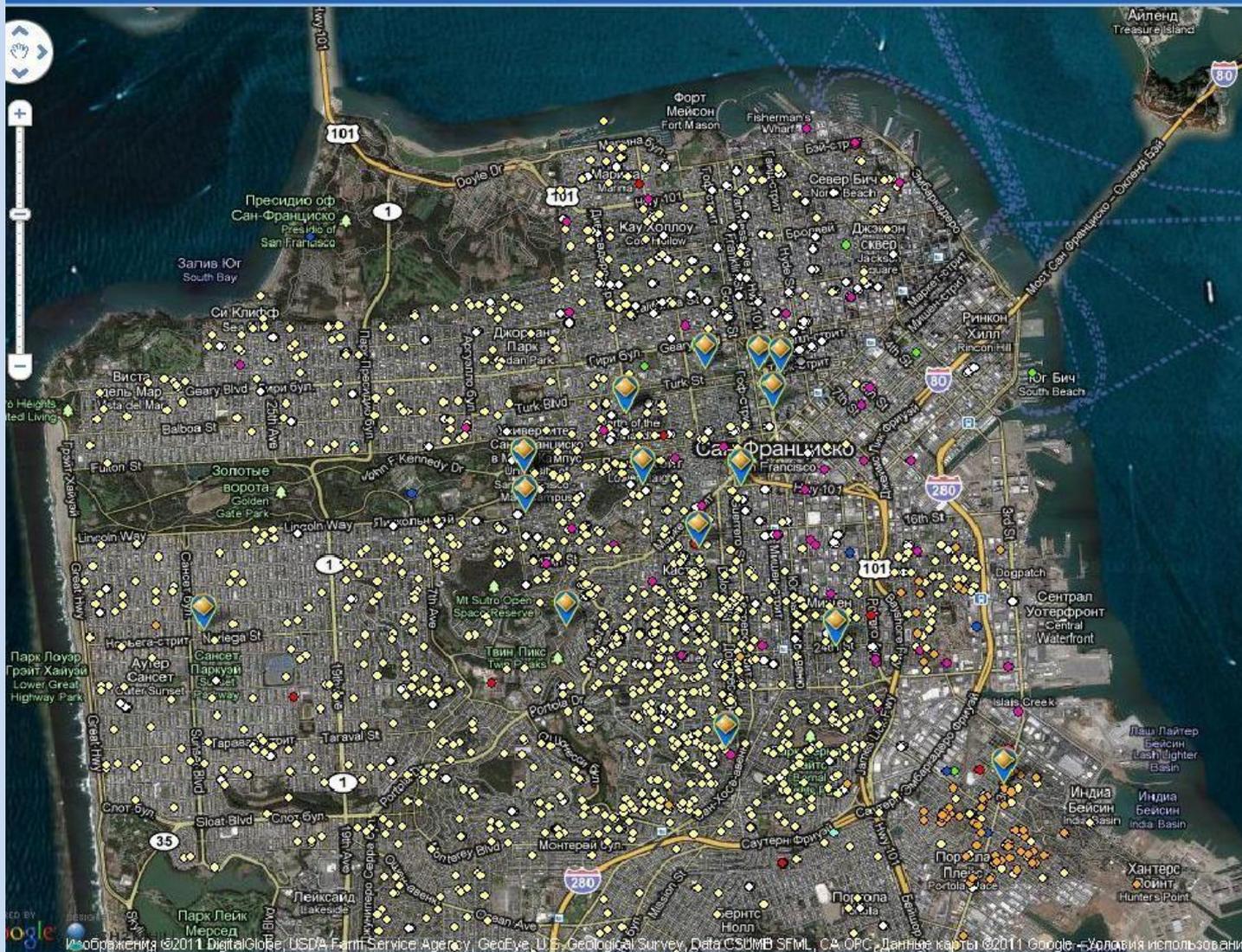


Рис. 17. Проект КСЭС:

1 – поток солнечной энергии; 2 – коллектор солнечной энергии; 3 – передающая антенна; 4 – приемная антенна; 5 – СВЧ луч; 6 – геосинхронная орбита энергетического спутника (30000... 40000 км от поверхности Земли)

Reset Map ← Back

Map | Satellite | Hybrid



Welcome Legend

- ### Markers
- Solar Installations**
- Municipal
 - Residential
 - Commercial
 - Schools/libraries
 - Non-profits
 - Monitoring stations
 - Environmental Justice Program
 - Case Study
 - Solar Hot Water
- Don't see your solar installation on the map?**

What Can Solar Do For You?

Enter your address

(ex. 11 Grove Street or 11 Grove St)

[get my info](#)

- ### SF Solar News
- Find out how you can get money from the City to install solar here.
 - State Rebates for Solar Water Heating Systems Now Available
 - Update on GreenFinancesF PACE financing program
 - San Francisco 5 MW Solar Project In Progress
 - New EcoCenter at Heron's Head Park Includes Off-Grid Solar System
 - CleanPowerSF CCA program will increase SF solar generation

SF Solar Facts

- PV systems installed: 2,043
- Total CEC-AC capacity: 9.2 MW
- Estimated Energy produced: 13,437 MWh/yr
- Estimated Annual savings: \$2,213,611
- Estimated Annual CO2 reduction: 4,036 tonnes

updated 9/13/12

- ### SF Solar Resources
- Benefits of Solar Electricity
 - Solar Water Heating Basics
 - Solar Rebates, Tax Credits & Other Incentives